Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارۀ دوم، تابستان ۱۴۰۳، از صفحۀ ۲۴۳ تا ۲۵۶

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و سیال‌های درگیر در کانسار آهن اسکارن کرات، سنگان، شمال‌شرق ایران

هانیه رحیمی*، **محمد یزدی**، **کاظم قلی زاده**

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۵/۳۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۸/۲۱)

چکیده: کانسار آهن کرات در کنار مجموعه معادن سنگان در شمال شرق ایران قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه شامل هورنفلس، سنگ‌آهک دگرگونه تا مرمریت، ماسه‌سنگ، لای سنگ و شیل با میان‌لایه‌های مارن، شیل و مارن، کنگلومرای قرمزرنگ ضخیم‌لایه، گرانیت و نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر هستند. نفوذ توده گرانیتی در واحدهای رسوبی منجر به تشکیل کانسارهای آهن در لبه توده شده است. کانه‌های فلزی شامل مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و به مقدار کم کانی‌های سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت هستند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که همبستگی زمین شیمیایی قوی بین عناصر نیکل، منیزیم و وانادیم با کانی‌سازی آهن وجود دارد که بیانگر خاستگاه ماگمایی کانسار آهن کرات است. به‌منظور تعیین ویژگی‌های سیال کانه‌ساز کانسار آهن اسکارن کرات، سیال های درگیر در رگه‌های کوارتز بررسی شدند. بر پایه ریزدماسنجی انجام شده نیز مشخص شد که سیال‌های درگیر بیشتر از نوع دوفازی غنی از مایع (L+V) با شوری کم تا متوسط (۴٫۴۸ تا ۱۶٫۴۲ درصد وزنی نمک) و گستره دمای همگن‌شدگی ۲۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتیگراد هستند. براساس داده‌های صحرایی، کانی شناسی، زمین‌شیمی و سیال‌های درگیر در کانسار کرات، خاستگاه سیال‌های ماگمایی-جوی و دگرگونی بوده و عامل اصلی نهشت کانه‌ها در این کانسار، آمیختگی هم‌دما و رقیق-شدگی سیال‌های ماگمایی-دگرگونی در اثر آمیختگی با آب‌های سطحی است. به احتمال بسیار فاز اصلی کانی‌سازی در مرحله اسکارن پسرونده رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: *زمین شیمی؛ سیال‌های درگیر؛ اسکارن؛ کرات؛ سنگان؛ شمال شرق ایران.*

مقدمه

کانسار آهن کرات در جنوب شرقی شهر مشهد و ۲۸ کیلومتری شمال شرقی معدن سنگان در گستره طول‌های شرقی 60°31′ 3.53 تا 60°33′ 46.26 و عرض‌های شمالی 34°31′ 11.18 تا 34°32′ 9.78 در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد واقع است. منطقه مورد بررسی با توجه به تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی-ساختاری عمده ایران، در شمال شرق خرده قاره ایران مرکزی قرار دارد. تاکنون بررسی جامع اکتشافی در کانسار سنگ آهن کرات انجام نشده و اطلاعات بیشتر محدود به تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد است [۱]. البته در مناطق معدنی کنار کانسار کرات از جمله معدن معروف سنگ آهن سنگان بررسی‌های بسیاری در قالب طرح‌های زمین شناسی و اکتشافی و پایان‌نامه‌های دانشجویی انجام شده است [۲-۱۹]. در این پژوهش، کانی‌شناسی، زمین شیمیایی، ریزدماسنجی سیال‌های درگیر و سرانجام خاستگاه کانسار کرات بررسی شده است.

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، طی عملیات صحرایی تعداد ۷۱ نمونه سنگی از واحدهای رخنمون یافته به منظور بررسی‌های سنگ-شناسی، کانی‌شناسی و زمین شیمیایی برداشت شد و تعداد ۳۰ مقطع نازک، ۱۶ مقطع نازک-صیقلی و ۶ مقطع صیقلی از آنها تهیه شد. به منظور تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۰۲۵۰۳۷۶۰، پست الکترونیکی: haani.rahimy@gmail.com

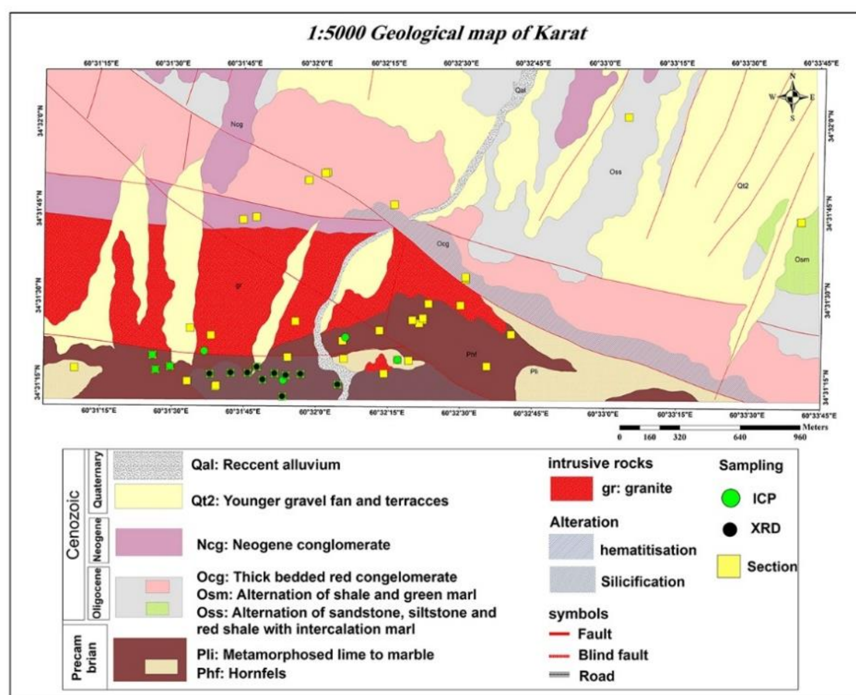
[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

برای تعیین غلظت عناصر کانه‌ساز، تعداد ۱۷ نمونه به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) در آزمایشگاه کانساران بینالود تجزیه شدند. همچنین به منظور بررسی سیال‌های درگیر از نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کوارتزی همراه بخش کانی‌سازی در کانسار آهن کرات، تعداد سه مقطع دوبر صیقل مناسب تهیه شد. همه مقاطع در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس تهران سنگ‌نگاری شدند. پس از آن، بررسی‌های کامل ریزدماسنجی با میکروسکوپ Leitz با صفحه گرم کننده و سرد کننده لینکام مدل THMCG 600 با گستره‌ی دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام شد.

سنگ شناسی

کانسار کرات بخشی از چارگوش ۱:۲۵۰،۰۰۰ زمین شناسی تایباد است. به‌منظور انجام بررسی‌های اکتشافی، نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی کانسار آهن کرات با همکاری شرکت گیتی فراز اطلس که بخشی از مجموعه معدنی کاپر استار است، تهیه شد. براساس پیمایش‌های صورت گرفته و نقشه تهیه شده، واحدهای سنگی در نقشه ۱٫۵،۰۰۰ از قدیم به جدید عبارتند از واحد هورنفلس (Phf)، واحد سنگ آهک دگرگونه تا مرمریت (Pli)، واحد ماسه سنگ، لای سنگ و شیل قرمز رنگ با میان لایه‌های مارن (Oss)، واحد شیل و مارن سبز رنگ (Osm)، واحد کنگلومرای قرمز رنگ ضخیم لایه (Ocg)، واحد کنگلومرا (Ncg)، واحد گرانیت (gr) و نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر (Qt2) در ادامه واحدهای سنگی رخنمون یافته در کانسار آهن کرات به ترتیب سنی از قدیم به جدید توصیف می‌شوند (شکل ۱).

واحد هورنفلس (Phf): این واحد سنگی شامل سنگ‌های آواری در حد ماسه‌سنگ، لای سنگ، شیل و مارن است که در اثر گرمای ناشی از توده‌های نفوذی در حد ضعیف تا متوسط دچار دگرگونی از نوع کناری شده است. سن این واحد سنگی پروتروزوئیک پسین در نظر گرفته می‌شود. ماهیت کربناتی سنگ‌های سازنده این واحد و هجوم سیال‌های ناشی از تبلور توده گرانیتی موجب کانی سازی اسکارن در بخش‌هایی از این واحد شده است (شکل ۲ الف).



شکل۱ نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از منطقه کرات.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]



شکل۲ الف) نمایی از واحد هورنفلس (دید به سمت شرق)؛ ب) نمایی نزدیک از همسایگی واحد آهک دگرگونه شده با واحد هورنفلس (دید به سمت شمال)؛ پ) همبری واحد Oss با واحد گرانیت به صورت گسله (دید به سمت شمال)؛ ت) رخنمون واحد Osm (دید به سمت شمال)؛ ث) همبری واحد آهک با واحد کنگلومرا به صورت گسله (دید به سمت شمال)؛ چ) واحد گرانیت در همبری با کانسار آهن (دید به سمت شمال شرق)

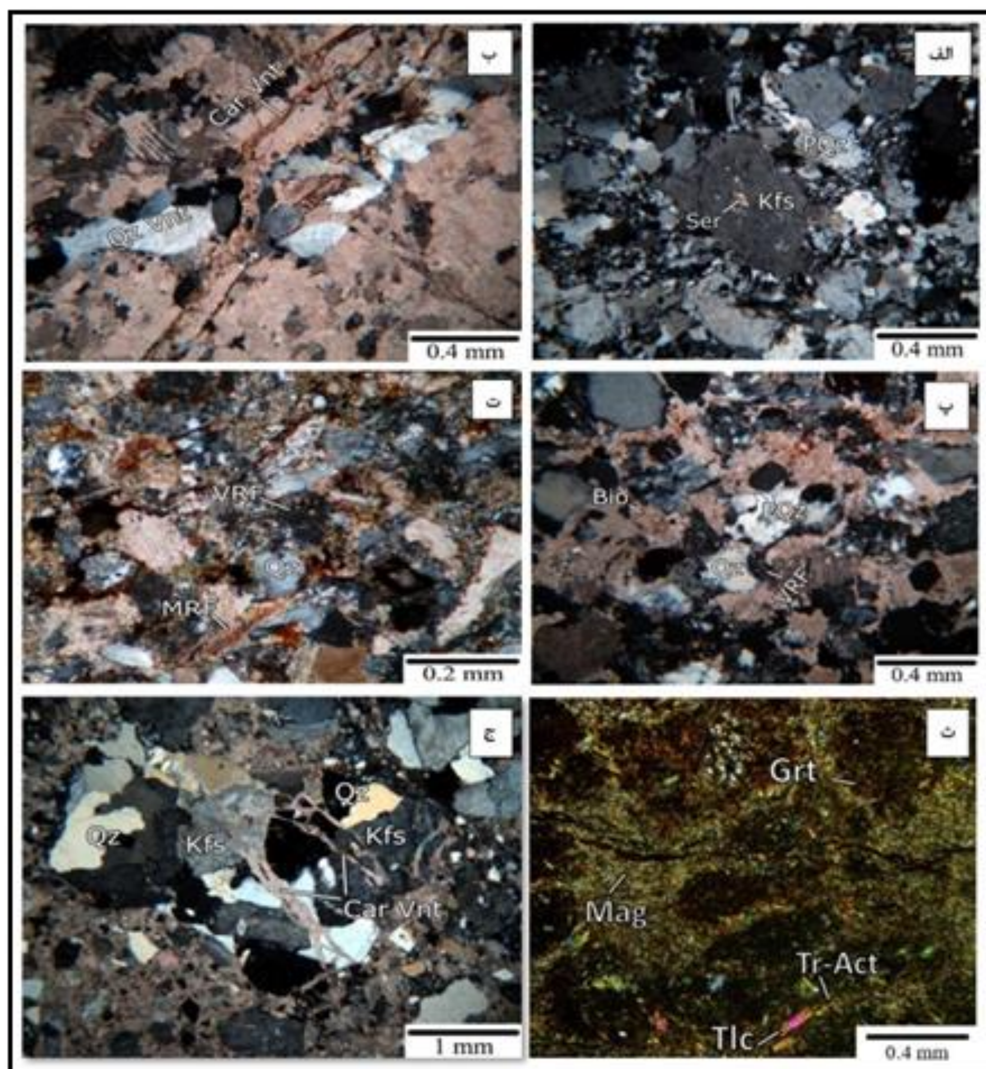
در مقطع میکروسکوپی این واحد، درشت بلورهای کوارتز و فلدسپار در زمینه بلوری دیده می‌شوند که سبب شکل‌گیری بافت پورفیری در سنگ ریولیت شده‌اند و بلورهای فلدسپار با دگرسانی‌های بسیار ضعیف رسی و سریسیتی دیده می‌شوند (شکل ۳ الف).

واحد سنگ آهک تا مرمریت (Pli): این واحد سنگی شامل سنگ‌های کربناتی کلسیتی و دولومیتی است که در اثر عوامل ثانویه و دگرگونه ساز دچار باز تبلور شده‌اند. واحد Pli میان-لایه‌های قابل تفکیک موجود در واحد Phf بوده و از نظر سنی با آن‌ها هم‌رده است (شکل ۲ ب). در مقطع میکروسکوپی این واحد، کانی‌های اصلی سازنده سنگ را بلورهای کربنات (کلسیت) و کوارتز تشکیل می‌دهند و بافت غالب سنگ بلورین هم اندازه است (شکل ۳ ب) .

واحد ماسه سنگ، لای سنگ و شیل قرمزرنگ با میان‌لایه‌های مارن (Oss): این واحد سنگی شامل سنگ‌های رسوبی آواری بوده که اندازه ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها از رس تا ماسه و درشت‌تر در تغییر است. این واحد را بر اساس شواهد موجود می‌توان سازند قرمز پایینی و سن آن را اولیگوسن پسین در نظر گرفت (شکل ۲ پ). در مقطع میکروسکوپی این واحد، اجزای اصلی سازنده سنگ را خرده‌سنگ‌ها، کوارتزهای تک بلور، بسبلور، خرده‌های فسیلی و پلاژیوکلاز تشکیل می‌دهند؛ برخی از خرده سنگ‌ها

دگرسانی کلریتی با درجه ضعیف تا متوسط نشان می‌دهند (شکل ۳ پ).

واحد شیل و مارن سبزرنگ (Osm): این واحد سنگی شامل سنگ‌های آواری دانه‌ریز و نازک‌لایه با ترکیب شیل و مارن است که دارای رنگ سبز هستند. بخش عمده این واحد با رسوب‌های گسسته و کنگلومرای نئوژن پوشیده شده است. از نظر سنی این واحد را با توجه به شواهد موجود می‌توان بخش زیرین سازند قرمز پایینی با سن اولیگوسن پسین در نظر گرفت (شکل ۲ ت). در مقطع میکروسکوپی این واحد، اجزای اصلی سازنده سنگ را خرده‌سنگ‌ها، کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی تشکیل داده و برخی از خرده سنگ‌ها درجه شدید دگرسانی کربناتی را نشان می‌دهند (شکل ۳ ت).



شکل۳ الف) فلدسپار قلیایی سریسیتی در کنار پچ کوارتز ثانویه (ریولیت ، واحد Phf) ؛ ب) رگچه‌های کربنات اسپارایتی که رگچه کوارتز را قطع کرده‌اند. (سنگ دولوستون، واحد Pli) ؛ پ) نمایی از دانه کوارتز بسبلور، تک بلور، خرده فسیلی و خرده سنگ دگرگونی. (ماسه سنگ، واحد Oss)؛ ت) نمایی از خرده سنگ آتشفشانی، خرده سنگ دگرگونی در حال کربناتی شدن و کوارتز تک بلور. (ماسه سنگ –خرده سنگی تا نیمه خرده سنگی- واحد Osm) ؛ ث) بلورهای گارنت گراسولار در حال رشد کنار بلورهای ترمولیت و تالک (گارنت هورنفلس، واحد Ncg)؛ ج) رگچه کربنات که بلورهای کوارتز و فلدسپار قلیایی را قطع کرده است (گرانیت، واحد gr). (Grt: گارنت، Fe-Oxide: اکسیدهای آهن، Tlc: تالک، Tr: ترمولیت، Act: اکتینولیت، Car: کربنات، Qz: کوارتز، Vnt: رگه، PQz: کوارتز بسبلور، VRF: خرده سنگ دگرگونی، MRF: خرده سنگ آتشفشانی، Bio: خرده فسیل، Kfs: فلدسپار قلیایی، Pl: پلاژیوکلاز [۲۰]).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

واحد کنگلومرای قرمز رنگ ضخیم لایه (Ocg): این واحد سنگی شامل کنگلومرا با قلوه‌های درشت و گرد شده بوده که به علت انباشت اکسید و هیدروکسیدهای آهن در خمیره به رنگ قرمز درآمده است.

واحد کنگلومرا (Ncg): این واحد سنگی شامل کنگلومرای جوان بوده که به‌صورت ناپیوسته و دگرشیب روی سایر واحدهای سنگی تشکیل‌شده است. شواهد موجود نشان می‌دهد که بخش زیادی از حجم این کنگلومرا در اثر فرسایش سطحی از بین رفته و مواد برآمده از فرسایش آن به‌صورت پادگانه‌های برجا در بخش‌های مسطح باقی‌مانده است. این قطعه‌ها شامل سنگ‌های کربناتی، سنگ‌های آواری و سنگ‌های آذرین هستند و نکته جالب توجه وجود قطعه‌هایی از جنس مگنتیت با خاستگاه اسکارن است. قطعه‌های مگنتیتی اندازه متفاوتی دارند و فراوانی آن‌ها در زمینه کنگلومرا کمتر از ۵ درصد است (شکل ۲ ث). در مقطع میکروسکوپی این واحد، گارنت‌های کلسیم‌دار (گراسولار) که از جمله کانی‌های شاخص نوع اسکارن هستند در همراهی با بلورهای تالک و ترمولیت-اکتینولیت دیده گردید (شکل ۳ ث).

واحد گرانیت (gr): این واحد توده آذرینی با ترکیب اسیدی در حد گرانیت تا کوارتز مونزونیت است. این واحد در سنگ‌های دگرگونه‌شده وابسته به پروتروزوئیک جای‌گیر شده اما بخش عمده برخوردگاه‌های آن در شمال و جنوب رخنمون از نوع گسله است. از آنجا که در برخوردگاه جنوبی، سیال‌های ناشی از تبلور توده باعث کانی‌سازی اسکارن در سنگ میزبان شده‌اند، گسل‌های موجود عامل صعود و استقرار توده بوده‌اند (شکل ۲ ج). در مقطع میکروسکوپی این واحد، کانی‌های اصلی سازنده سنگ را بلورهای فلدسپار قلیایی، کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل می‌دهند و بافت اصلی سنگ دانه‌ای بوده اما هم رشدی کوارتز و فلدسپار قلیایی سبب شکل‌گیری بافت فرعی گرانوفیریک شده است. بلورهای فلدسپار با درجه ضعیف تا متوسط توسط سریسیت-کانی رسی و با درجه ضعیف توسط کربنات جانشین شده‌اند (شکل ۳ ج).

نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر (Qt2): پادگانه‌های آبرفتی گستره وسیعی از سطح منطقه را پوشانده‌اند. در بخش‌های مسطح و دشت گون منطقه، ضخامت زیادی از رسوب‌های گسسته تشکیل‌شده که بخش عمده آن بر واحد کنگلومرای نئوژن شکل گرفته است. در این رسوب‌ها، قطعه‌های مگنتیت که در اثر هوازدگی از کنگلومرا آزاد شده‌اند نیز وجود دارند.

کانه‌زایی

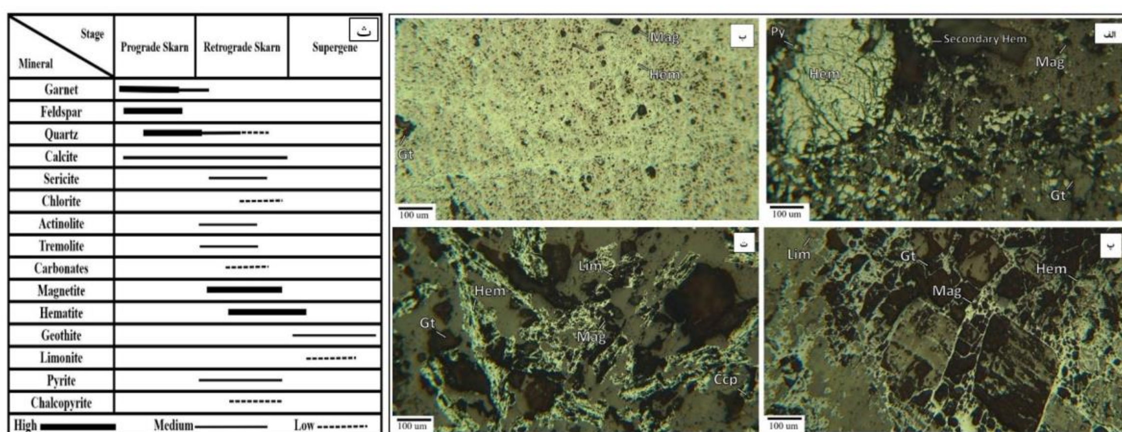
در کانسار کرات بیشتر کانه‌زایی فلزی به شکل اسکارن پسرونده و به طور کلی همراه با دگرسانی های سیلیسی، هماتیتی، سریسیتی و کلریتی به شکل عدسی‌ها و رگه-رگچه ها در واحد هورنفلس رخ داده است (شکل ۲ الف). ترکیب کانی شناسی فلزی شامل مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت است و نیز کانی‌های فاز برونزاد هماتیت (اسپکیولاریت)، گوتیت و لیمونیت هستند. بخش عمده کانه‌زایی شامل مگنتیت، هماتیت، پیریت و کالکوپیریت در مرحله دگرنهادی پسرونده تشکیل شده‌اند.

کانی‌های گارنت، فلدسپار، کلسیت و کوارتز در مرحله پیش از کانی سازی مگنتیت و در سنگ میزبان دیده می‌شوند. بخش عمده کانی‌های دگرسانی شامل ترمولیت، اکتینولیت، کلریت و سریسیت مربوط به مرحله نخست کانی سازی هستند. مگنتیت نیز در مرحله نخست کانی‌سازی شکل گرفته است، که در بخش درونی کانسار به صورت بافت‌های نیمه توده‌ای- دانه‌ای و موضعی- برشی دیده شده و به صورت جایگزینی با هماتیت و نیز گاهی دگرسان و جایگزین با گوتیت یافت می‌شوند (شکل ۴ الف). در ادامه با ورود محلول‌های کانه‌ساز به درون سنگ میزبان، مگنتیت به همراه هماتیت در دمای پایین‌تر در قالب رگه-رگچه و نیز به صورت پراکنده در زمینه سنگ شکل گرفته است. بلورهای هماتیت به نوع میکایی (اسپکیولاریت) و به صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده ریزشکستگی‌های درون بلوری (بلورهای غیرفلزی) و بین بلوری و فضاهای خالی وجود دارند. (شکل ۴ ب). تشکیل هماتیت در اثر تجزیه مگنتیت و سولفیدها نیازمند افزایش گریزندگی اکسیژن است و این اکسیژن از چرخش آب‌های جوی و یا ماگمایی در پهنه‌های شکسته و خردشده در فاز دگرنهادی پسرونده تامین می‌شود که دلیل ایجاد شکستگی و خردشدگی در سنگ‌ها نیز به احتمال بسیار صعود ماگماست [۲۲،۲۱]. گوتیت نیز به شکل بلورهای دروغین مجزا، آغشتگی و نیز پرکننده ریزشکستگی‌ها و فضاهای بین بلوری، به صورت رگه-رگچه‌ای و لبه بلورهای مگنتیت وجود دارد. در همراهی بلورهای گوتیت، گاهی بلورهای لیمونیت نیز به صورت آغشتگی و نیز رگه-رگچه‌ای و بلوری وجود دارند (شکل ۴ پ). کانی‌های گوتیت و لیمونیت نیز مربوط به مرحله برونزادی هستند. از کانی‌های سولفیدی دیده شده در مقاطع نیز می‌توان به ذرات پیریت با مقادیر کم و کالکوپیریت با مقادیر صدم تا دهم درصد (شکل ۴ ت) اشاره کرد که به‌ندرت و طی مرحله تاخیری به صورت درگیر با

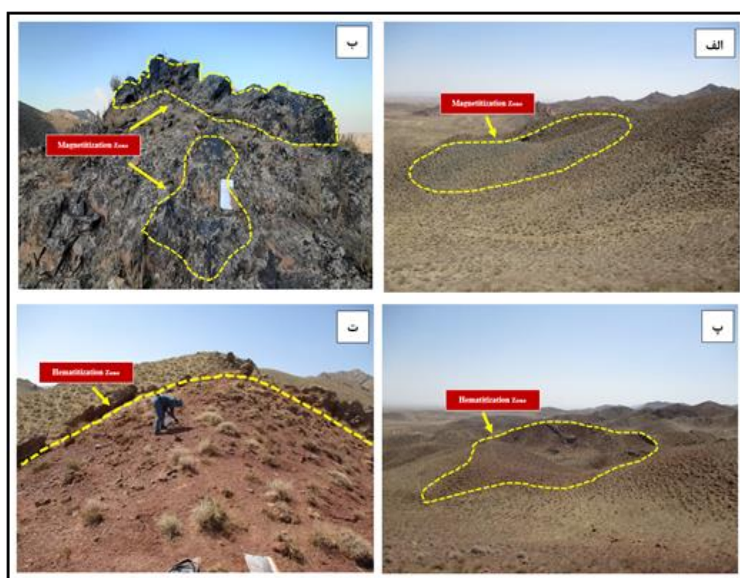
[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

کانی‌های اکسیدی آهن‌دار و پراکنده در زمینه یافت می‌شوند (شکل ۴).

کانی سازی آهن درکانسار کرات را از نظر چگونگی و موقعیت مکانی می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. این تقسیم‌بندی شامل کانی سازی آهن به‌صورت مگنتیتی و هماتیتی شدن است. نفوذ توده گرانیتی در کانسار آهن کرات منجر به تشکیل کانسارهای آهن در لبه توده شده است. بخش اصلی این کانی سازی در واحدهای رسوبی دگرگونه شده آهکی و نیمه عمیق آتشفشانی حدواسط و در سنگ‌های پروتروزوئیک پسین بوده که اغلب از نوع مگنتیتی است. این مجموعه بر نقشه زمین شناسی ۱:۵۰،۰۰۰ منطقه با عنوان واحد Phf آمده است. همچنین در راستای گسل اصلی موجود در جنوب منطقه با روند شمال غرب – جنوب شرق، دگرسانی‌های هماتیتی و گاهی گوتیتی در گستره وسیعی دیده می‌شوند (شکل ۵).



شکل۴ الف) همبری بلورهای مگنتیت به عنوان کانه اصلی به همراه هماتیت و گوتیت؛ ب) پراکندگی بلورهای هماتیت که بخش عمده‌ای از مقطع را دربر گرفته اند به همراه مگنتیت با بافت ریزدانه و کمی بلورهای گوتیت؛ پ) قرارگیری بلورهای مگنتیت که اکسید آهن اولیه نمونه بوده و به‌صورت شبکه‌ای هماتیتی و گوتیتی شده است در همراهی بلورهای لیمونیت؛ ت) انباشت بلورهای هماتیت از نوع میکایی (اسپکیولاریت)، مگنتیت، گوتیت و لیمونیت به همراه بلورهای بسیار ریز پیریت (Mag: مگنتیت، Hem: هماتیت، Gt: گوتیت، Lim: لیمونیت، Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت [۲۰]). ث) دنباله کانه‌زایی کانه‌ها و کانی‌های کانسار آهن کرات.



شکل۵ الف) نمای دور از پهنه مگنتیتی (دید به سمت شمال)؛ ب) نمای نزدیک از پهنه مگنتیتی (دید به سمت شرق)؛ پ) نمای دور از پهنه هماتیتی (دید به سمت جنوب) ت) نمای نزدیک از پهنه هماتیتی (دید به سمت جنوب).

بررسی‌های زمین شیمیایی

برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی، تعداد ۱۷ نمونه از منطقه برداشت شد که به منظور تجزیه ICP-OES برای ۳۳ عنصر ارسال شدند. پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، داده‌ها برای پردازش‌های آماری آماده شدند. در این پژوهش، به‌منظور تحلیل داده‌های زمین شیمیایی، از بررسی های آماری تک-متغیره (تحلیل پارامترهای آماری توصیفی و تعیین مقدار زمینه، حد آستانه‌ای و ناهنجاری)، تحلیل‌های آماری دومتغیره (روش تحلیل ضرایب همبستگی) و تحلیل‌های آماری چندمتغیره (تجزیه خوشه‌ای) استفاده شد.

برپایه داده‌های به دست آمده از تجزیه ICP-OES، عیار آهن تا مقادیر 5 درصد به دست آمد، اما به دلیل ناتوانی دستگاه، مقادیر بالاتر از آن محاسبه نشدند. مقدار فسفر برابر با ۰٫۰۰۳ تا ۰٫۰۶۱ درصد بوده و برای کانسار آهن مطلوب است و کانی فسفات‌داری چون آپاتیت نیز در مقاطع بررسی شده دیده نشد. این در حالی است که مقدار گوگرد در نمونه‌ها از ۰٫۲۳ تا حدود ۱ درصد است که این مقدار پیامد همراهی پیریت با مگنتیت و هماتیت است. مقدار مس در همه نمونه‌ها کمتر از ۰٫۰۲ درصد است و ویژگی‌های کانی شناسی نیز نشان می‌دهند که هیچ کانی نخستین یا ثانویه مس‌داری در منطقه پدید نیامده است. فراوانی طلا نیز در همه نمونه‌ها نیز بسیار ناچیز و کمتر از حد تشخیص دستگاه (5ppm) است. همچنین مقادیر نقره، آرسنیک، سرب، آنتیموان و روی کمتر از ۰٫۰۱ درصد بوده که نشان دهنده کم بودن فراوانی همه عنصرهای معدنی در کانسار است (جدول ۱). بر پایه بررسی‌های آماری دو متغیره و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌هایی که با تابع لگاریتم به حالت بهنجار تبدیل شده‌اند، ۴ عنصر وانادیم، نیکل، منیزیم و منگنز ضریب همبستگی مثبت بالاتری نسبت به عناصر دیگر با عنصر آهن در این منطقه دارند ($r_{Fe-V}=0.843$, $r_{Fe-Ni}=0.710$, $r_{Fe-Mg}=0.707$, $r_{Fe-Mn}=0.599$)؛ این می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط همبرزایی قوی این عناصر با آهن و بیانگر خاستگاه ماگمایی کانسار آهن در منطقه کرات باشد، اما برای اطمینان بیشتر انجام تجزیه‌های ریزپردازش الکترونی و ایزوتوپی بر داده‌ها ضروری است (جدول ۲).

جدول ۱ نتایج تجزیه ICP-OES همراه با جایگزینی داده‌های خارج از ردیف و ناهنجار در کانسار آهن کرات.

عنصر / شماره نمونه	kr-36	kr-39	kr-42	kr-45	kr-46	kr-48	kr-50	kr-52	kr-54	kr-56	kr-58	kr-60	kr-62	kr-63	kr-65	kr-67	kr-69
Ag (ppm)	۰٫۹	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۷	۰٫۲	۰٫۸	۰٫۲	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۴	۰٫۶	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۹
As (ppm)	۱۷٫۲۵	۱۷٫۲۵	۹	۳	۴	۷	۸	۴	۱۱	۹	۱۱	۷	۹	۸	۵	۱۰	۵
Ba (ppm)	۳۰۵٫۵	۱۳۸٫۲	۴۴۱٫۲	۴۰٫۲	۲۳۰٫۳	۹۱٫۳	۶۲۱٫۲	۶۵۴٫۸	۲۳۴٫۵	۱۰۸٫۸	۲۲۹٫۷	۱۰۲۷٫۲۵	۱۶۹٫۷	۵۵۰	۷۲۹٫۹	۲۴۰٫۱	۱۸۶٫۳
Be (ppm)	۱٫۴	۰٫۹	۲٫۰	۰٫۵	۱٫۶	۱٫۰	۱٫۲	۱٫۷	۱٫۵	۱٫۸	۲٫۳	۱٫۵	۰٫۶	۲٫۲	۱٫۶	۰٫۵	۰٫۴
Ca(٪)	۸۳۷۵	۲۶۵۵	۲۲۴۸۲	۷۵۰۹	۲۷۳۷۱	۴۰۲۹۱	۳۶۵۱	۵۸۹۱	۷۰۹۴	۱۳۰۹۷	۲۰۷۷	۶۹۸	۹۶۹۲	۱۹۷۸۹	۵۱۸۰	۵۵۶۹۲٫۵	۵۵۶۹۲٫۵
Cd(٪)	۲٫۶	۰٫۶	۰٫۳	۱٫۴	۰٫۴	۱٫۵	۰٫۹	۰٫۲	۱٫۴	۲٫۴	۰٫۵	۰٫۸	۱٫۷	۰٫۳	۰٫۲	۳٫۴۷۵	۰٫۷
Ce(٪)	۱۲۷٫۵	۲۴٫۱	۱۲۷٫۵	۲۶٫۷	۳۶٫۶	۳۱٫۶	۳۲٫۵	۱۲۷٫۵	۴۸٫۱	۳۹٫۰	۴۲٫۶	۳۰٫۵	۲۱٫۳	۱۲۷٫۵	۴۶٫۴	۱۱٫۸	۲۹٫۸
Co(ppm)	۰٫۹	۰٫۴	۰٫۱۵	۰٫۵	۰٫۹	۰٫۱۵	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۵	۰٫۸	۰٫۴	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۲
Cr (ppm)	۴۲	۱۳	۱۴	۸۱	۱۹	۱۰۲	۱۳	۶	۷۰	۱۲۵	۱۳	۱۰	۹۱	۱۳	۱۹	۱۶	۲۳
Cu(ppm)	۱۷	۱۵	۱۱	۲۴٫۵	۱۹	۱۲	۱۰	۱۱	۱۳	۱۸	۱۳	۱۲	۱۴	۱۷	۱۵	۱۴	۱۶
Fe(٪)	۶۶۰۰۰	۱۸۸۶۲	۲۸۶۴۳	۶۶۰۰۰	۱۳۹۰۳	۶۶۰۰۰	۶۲۰۳	۲۶۹۹۷	۶۶۰۰۰	۶۶۰۰۰	۱۵۴۸۸	۱۵۴۵۱	۶۶۰۰۰	۲۴۰۳۳	۱۸۳۷۴	۶۶۰۰۰	۱۷۵۸۸
K(٪)	۹۸۳۵	۸۸۴۲	۱۷۱۲۴	۲۷۲۶	۱۲۶۱۱	۱۳۳۹۸	۲۷۷۷۱	۱۹۲۵۹	۲۸۵۳۶	۷۲۸۶	۲۰۷۴۰	۲۹۷۱۴	۸۸۲۰	۲۳۶۳۱	۲۵۵۴۷	۳۲۶۷	۶۴۲۸
La(ppm)	۶۳٫۲۵	۱۳٫۵	۶۳٫۲۵	۹٫۴	۱۸٫۷	۱۲٫۰	۱۶٫۴	۶۳٫۲۵	۱۷٫۰	۱۵٫۲	۱۸٫۷	۱۴٫۳	۹٫۱	۶۳٫۲۵	۲۲٫۴	۷٫۸	۲۰٫۴
Li(ppm)	۱۶	۴	۶	۲۱	۴	۲۴	۳	۱۳	۳۸	۲۷	۵	۶	۲۵	۹	۳۰	۳	۱۱
Mg(ppm)	۳۵۵۴	۴۶۷	۴۹۲۵	۹۰۸۴۱٫۵	۴۲۱۵	۳۸۱۱۰	۲۴۳۱	۱۱۶۵۰	۳۹۱۲۲	۹۰۸۴۱٫۵	۵۲۸۸	۲۸۵۸	۴۳۷۳۸	۴۰۴۴	۹۵۳۶	۱۱۷۳۳	۶۸۴۸
Mn(ppm)	۲۵۲	۷۱	۲۲۶	۴۸۶	۲۴۵	۴۱۳	۶۷	۱۰۱	۱۳۴	۳۷۷	۴۰	۹۳	۳۶۰	۵۶۴	۱۵۳	۹۷۸٫۲۵	۵۰۸
Mo(ppm)	۶٫۰۲۵	۲٫۳	۳٫۱	۱٫۱	۲٫۵	۱٫۲	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۳	۵٫۲	۰٫۵	۱٫۹	۰٫۸	۰٫۹	۶٫۰۲۵	۱٫۳	۱٫۴
Na(٪)	۲۹۷۳۹	۲۷۹۳۸	۱۹۱۴۵	۱۲۴۴۲	۲۰۵۲۸	۱۱۳۷۴	۲۰۳۳۵	۱۴۲۴۰	۱۴۵۲۰	۱۵۷۳۲	۱۱۶۳۴	۴۶۲۸	۹۴۷۹	۱۷۹۵۸	۳۲۹۴	۲۷۷۲	۳۱۲
Ni(ppm)	۲۸	۱۵	۱۴	۲۶	۱۱	۲۶	۱۶	۱۰	۲۰	۳۴	۱۳	۱۳	۲۱	۱۷	۱۹	۴۴	۱۹
P(ppm)	۶۱۱	۵۱	۱۴۱۰٫۵	۵۴۱	۱۸۷	۵۹۶	۴۸	۲۴۴	۵۴۲	۷۰۷	۸۰	۳۰	۵۴۷	۸۷۹	۱۷۱	۳۹	۲۷۷
Pb(ppm)	۹	۸	۱۰	۱۳	۷	۱۰	۶	۶	۱۲	۸	۹	۱۲	۱۰	۸	۹	۷	۱۶٫۲۵
S(ppm)	۱۶۸۳٫۷۵	۱۶۸۳٫۷۵	۱۲۸	۳۹۴	۴۹۷	۵۲۹	۲۴۹	۴۳۲	۷۵۰	۶۴۸	۹۰۹	۵۹۱	۳۵۲	۳۷۳	۲۵۹	۸۷۳	۱۱۵۹
Sc(ppm)	۷٫۳	۱٫۱	۷٫۰	۳۳٫۱	۱۰٫۷	۳۷٫۰	۲٫۴	۸٫۵	۲۹٫۶	۴۳٫۲	۳٫۵	۲٫۶	۳۴٫۴	۷٫۶	۵٫۸	۱۱٫۴	۳٫۴
Sc(ppm)	۹۴٫۸	۷۳٫۱	۷۴٫۳	۴۴٫۳	۱۲۷٫۲	۸۵٫۴	۹۴٫۲	۶۸٫۸	۹۵٫۰	۷۹٫۹	۶۰٫۲	۳۶٫۸	۴۰٫۵	۲۰۳	۳۳٫۳	۲۰۳	۲۰۳
Th(ppm)	۲۵	۷	۸	۱۳	۴	۱۳	۴	۶	۱۵	۱۵	۶	۵	۱۶	۸	۵	۳۰	۳
Ti(ppm)	۲۹۹۱	۲۶۵	۳۹۷۹	۴۴۵۳	۱۱۸۲	۵۱۷۷	۳۹۹	۱۲۴۳	۴۱۵۹	۵۷۵۸	۶۵۹	۴۷۲	۴۶۲۹	۳۹۱۲	۹۲۵	۸۵	۱۴۳۵
V(ppm)	۸۹	۸	۳۴	۲۲۴	۳۰	۲۷۴	۷	۳۶	۲۰۲	۳۰۸	۱۳	۹	۲۵۳	۶۱	۱۲	۲۳	۲۴
Y(ppm)	۱۴٫۴	۴٫۱	۱۳٫۲	۸٫۲	۷٫۹	۷٫۳	۵٫۶	۵٫۳	۶٫۷	۸٫۱	۳٫۹	۳٫۹	۵٫۰	۱۵٫۳	۱۲٫۴	۲۴٫۵۶	۱۲٫۷
Zn(ppm)	۱۴	۱۱	۱۰	۴۷	۱۹	۳۰	۱۳	۷۶	۱۷	۴۹	۹	۱۴	۲۳	۱۸	۱۵	۲۳	۷۶
Zr(ppm)	۱۹	۱۱	۳۵	۱۳	۵۲	۸	۱۸	۱۹	۳۰	۱۰	۲۸	۲۳	۶	۸	۴۰	۱۶	۱۸

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

جدول۲ ضرایب همبستگی عناصر به دست آمده به روش پیرسون.

Ag	۱															
As	٫۰۲۷	۱														
Ca	٫۱۸۷	-٫۱۷۸	۱													
Cd	٫۶۱۸	٫۳۷۹	٫۱۹۴	۱												
Co	-٫۱۷۰	٫۱۴۳	-٫۲۵۵	٫۲۵۳	۱											
Cr	٫۶۰۰	٫۰۴۶	٫۲۹۸	٫۶۶۴	٫۱۱۷	۱										
Cu	٫۲۰۶	-٫۲۵۹	٫۲۳۵	٫۲۱۴	٫۴۷۵	٫۴۲۳	۱									
Fe	٫۶۶۳	٫۱۶۰	٫۳۷۹	٫۶۳۴	٫۰۷۱	٫۷۲۸	٫۳۳۰	۱								
Mg	٫۵۱۷	-٫۳۶۸	٫۳۲۰	٫۴۱۷	-٫۰۰۷	٫۷۶۴	٫۲۸۲	٫۷۰۷	۱							
Mn	٫۳۲۹	-٫۲۲۰	٫۸۱۳	٫۴۱۴	٫۱۱۱	٫۴۵۶	٫۴۹۶	٫۵۹۹	٫۴۸۶	۱						
Mo	-٫۱۰۸	٫۱۱۶	٫۱۲۱	٫۰۵۴	٫۲۹۳	٫۱۳۴	٫۳۸۶	٫۰۹۴	-٫۱۴۲	٫۲۴۵	۱					
Ni	٫۴۶۹	٫۲۴۱	٫۴۳۹	٫۸۱۴	٫۲۲۹	٫۶۴۹	٫۳۵۰	٫۷۱۰	٫۵۱۶	٫۶۷۲	٫۲۷۲	۱				
Pb	٫۵۳۹	-٫۱۲۷	٫۰۵۱	٫۱۷۱	-٫۱۵۴	٫۳۹۷	٫۲۶۹	٫۲۵۵	٫۲۸۵	٫۲۲۷	٫۰۵۰	٫۱۵۱	۱			
S	٫۵۱۴	٫۴۵۴	-٫۰۵۵	٫۴۳۸	٫۱۷۲	٫۰۹۱	٫۲۷۹	٫۱۸۸	-٫۲۱۱	-٫۰۳۱	٫۰۶۹	٫۲۵۵	٫۱۵۰	۱		
Zn	٫۵۶۵	-٫۵۹۴	٫۴۲۵	٫۱۲۴	-٫۲۴۸	٫۲۷۸	٫۲۹۶	٫۳۲۲	٫۵۶۵	٫۴۸۸	-٫۱۲۲	٫۲۲۲	٫۱۷۶	٫۰۸۱	۱	
V	٫۶۰۶	-٫۰۷۱	٫۴۰۹	٫۴۹۰	٫۰۱۹	٫۸۶۰	٫۳۷۸	٫۸۴۳	٫۸۲۹	٫۵۵۷	-٫۰۳۸	٫۵۰۵	٫۲۷۳	-٫۰۲۹	٫۴۳۹	۱
	Ag	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Zn	V

همچنین در تجزیه خوشه‌ای که بر اساس داده‌های بهنجار انجام شد، در شاخه A، عناصر کروم، وانادیم و منیزیم کنار هم و در خوشه B نیز عناصر نیکل و آهن کنار هم قرار دارند. با قرارگیری این دو مجموعه در کنار هم (A و B) در یک شاخه اصلی و با توجه به بررسی های دو متغیره انجام شده بر نتایج به دست آمده از تجزیه نمونه‌های برداشت‌شده از این منطقه، همبستگی زمین شیمیایی مناسبی بین عناصر نیکل، منیزیم و وانادیم با کانی سازی آهن وجود دارد که می تواند ناشی از آهن دوست بودن عناصر نیکل و منیزیم و خاستگاه ماگمایی کانسار آهن کرات باشد (شکل ۶).

بررسی‌های سیال‌های درگیر

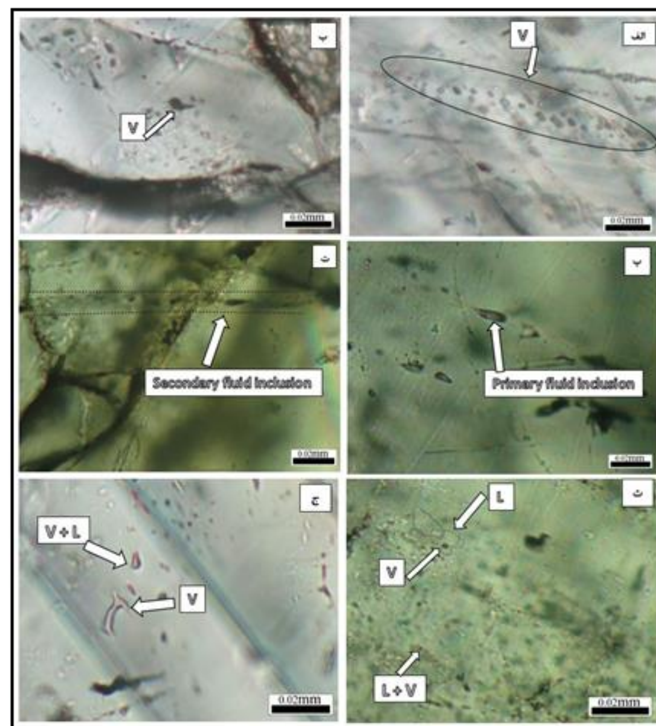
سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر

رایج‌ترین شکل سیال‌های درگیر در نمونه‌ها، انفرادی و دنباله‌ای است (شکل‌های ۷ الف و ب). سیال‌های درگیر اولیه با شواهدی چون قرارگیری در پهنه‌های رشد بلور، توزیع تصادفی در سه بعد، مجزا بودن از سیال‌های درگیر کناری و اندازه قابل توجهی نسبت به کانی میزبان تشخیص داده می‌شوند (شکل ۷ پ). سیال‌های درگیر ثانویه که بیشتر در ترک‌ها و شکستگی‌های کوچک درون بلورها گسترش‌یافته‌اند، به‌صورت تک ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص هستند (شکل ۷ ت). شکل سیال‌های درگیر گاهی با ویژگی‌های بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود [۲۳]. برای بررسی‌های زمین‌دماسنجی از سیال‌های درگیر اولیه استفاده شد، زیرا سیال‌های ثانویه هیچ دانشی از ماهیت سیال در زمان تشکیل سیال ندارند [۲۴]. برای رده‌بندی سیال‌های درگیر بر اساس نسبت‌های مختلف فازهای جامد، مایع و گاز از روش رایج نَش [۲۵] استفاده شد. بر اساس سنگ‌نگاری انجام شده برای سه نمونه، سه نوع سیال درگیر تشخیص داده شد که در ادامه بیان می‌شوند.



شکل۶ نمودار تحلیل خوشه‌ای عناصر برآمده از داده‌های بهنجار در رگه‌های کانه‌دار کانسار آهن کرات

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]



شکل۷ الف) سیال‌های درگیر تک‌فازی گازی به صورت دنباله‌ای؛ ب) سیال‌های درگیر تک فازی گازی به صورت انفرادی؛ پ) نمایی از سیال‌های درگیر دوفازی غنی از مایع (L+V) که به صورت اولیه تشکیل شده‌اند؛ ت) نمایی از سیال‌های درگیر دوفازی غنی از مایع (L+V) که به صورت ثانویه و در شکستگی‌های بین بلوری تشکیل شده‌اند؛ ث) نمایی از سیال‌های درگیر دوفازی L+V؛ ج) نمایی از سیال‌های درگیر دوفازی V+L.

تک فازی گازی: در این نوع از سیال‌های درگیر، حباب تنها فاز تشکیل‌دهنده است. از این رو از این نوع از سیال‌ها نمی‌توان برای ریزدماسنجی استفاده نمود. این سیال‌های درگیر فراوانی زیادی در نمونه دارند و بیشتر به شکل نامنظم و به رنگ تیره دیده می‌شود. اندازه آن‌ها از ۲ تا ۱۵ میکرون است. این سیال‌های درگیر به‌صورت همزیست با سیال‌های درگیر دوفازی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده جوشش در محیط است.

دو فازی غنی از مایع (L+V) : در این نوع سیال‌های درگیر، فاز مایع همراه با فاز حباب گاز وجود دارد. بیشترین حجم سیال‌های درگیر را فاز مایع در برمی‌گیرد و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۰٪ حجم سیال‌های درگیر بررسی شده را شامل می‌شود. سیال‌های درگیر بررسی شده در نمونه‌ها بیشتر از این نوع هستند. این سیال‌های درگیر فراوانی به نسبت خوبی در نمونه دارند و بیشتر سیال‌های درگیر برای ریزدماسنجی از این گروه هستند. این سیال‌های درگیر بیشتر به شکل نامنظم دیده می‌شوند و اندازه آن‌ها ۲ تا ۱۰ میکرون است.

دو فازی غنی از گاز (L+V) : در این نوع از سیال‌ها، حباب گاز بیشترین حجم سیال را در برگرفته است. گاهی بیش از ۷۰ درصد حجم سیال را حباب گاز فراگرفته است. همگن‌شدگی در این نوع از سیال‌های درگیر با تشکیل بخار همراه است. فراوانی این نوع از سیال‌های درگیر و همراهی آن‌ها با نوع دوفازی غنی از مایع نشان‌دهنده فرایند جوشش است [۲۶]. این نمونه سیال‌های درگیر دوفازی غنی از گاز از ۵ تا ۱۵ میکرون با فراوانی کم نسبت به دو نسل دیگر پراکنده هستند.

نتایج و تفسیر بررسی‌های سیال‌های درگیر

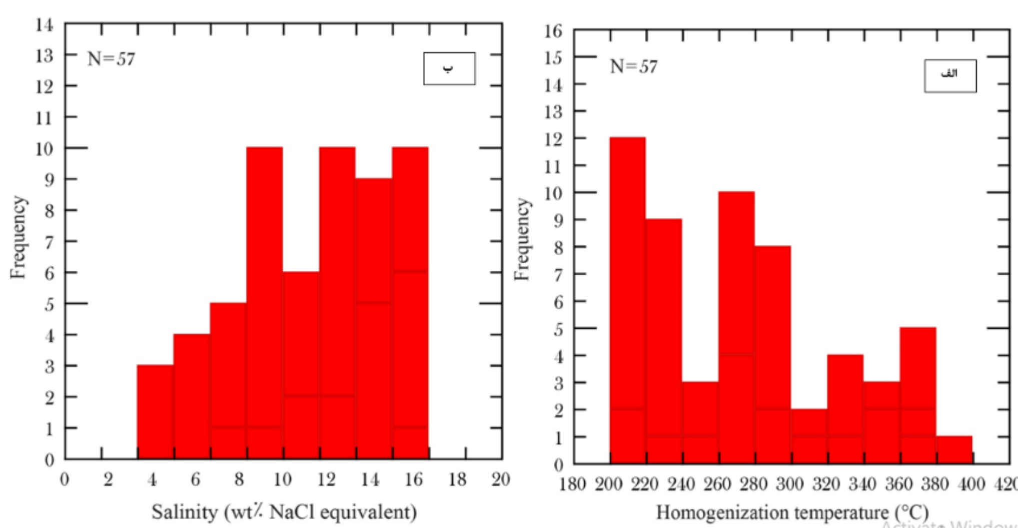
در سال‌های اخیر، بررسی سیال‌های درگیر بیش از هر روش دیگری در تعیین دمای نهشت کانه‌ها مورد توجه بوده است [۲۷]. دمای همگن شدگی می‌تواند برآوردی از دمای سیال طی به دام افتادن در کانی میزبان بوده و گستره دمایی مربوط به فعالیت فازهای گرمابی و دمای تشکیل کانسار باشد [۲۸]. براساس نتایج ریزدماسنجی ۳ نمونه سنگ و ۵۷ سیال درگیر (جدول ۳)، دمای همگن شدگی در کانسار آهن کرات ۲۰۰-۳۹۰ درجه سانتی گراد بدست آمد که در دو گستره ۲۰۰-۲۲۰ و ۲۶۰-۲۸۰°C قله‌های مشخصی را نشان می‌دهد (شکل ۸ الف). مقدار شوری سیال‌های درگیر را می‌توان با استفاده از

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

مقادیر دمای هم‌گدازی در سیال‌ها، نمودارها و روابط مختلف محاسبه نمود [۲۸-۳۰]. دمای ذوب آخرین قطعه یخ سیال‌های درگیر (Tm_{ice}) برابر با ۱۴٫۳- تا ۲٫۷- درجه سانتی گراد است، از آنجا که دمای ذوب نخستین بلور یخ در سامانه $NaCl+H_2O$ حدود ۲۰٫۸- ^oC است، احتمال حضور نمک‌های دیگر افزون بر NaCl در نمونه‌های بررسی شده وجود ندارد و سامانه سیال $NaCl+H_2O$ است [۳۲،۳۱] و شوری محاسبه شده از ۴٫۴۸ تا ۱۶٫۴۲ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند (شکل ۸ ب). با همگن کردن فازهای درون سیال‌های درگیر به فاز مایع یا گاز و تعیین دمای همگن‌شدگی، کمینه دمای تشکیل کانسار محاسبه گردید که بر این اساس، سیال های درگیر نوع L+V با میزبانی کانی کوارتز در گستره ۲۰۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی گراد همگن شده‌اند همچنین براساس نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی [۳۳]، چگالی سیال‌های درگیر برای نوع L+V موجود در کانی کوارتز ۰٫۷ تا ۱٫۰ g/cm^3 به دست آمد و روندهای فیزیکی اصلی منطقه نیز شامل آمیختگی، جوشش و سردشدگی هستند، که باتوجه به فراوانی کم میانبارهای نوع غنی از گاز و نبود شواهد کافی پدیده‌های جوشش و سردشدگی در شکل‌گیری کانسار سهیم نبوده‌اند (شکل ۹ الف) تغییرات شوری در منطقه گسترده وسیعی دارد. تغییرات گسترده شوری سیال‌های درگیر می‌تواند نتیجه آمیختگی سیال‌های با شوری مختلف [۳۴] یا به دام افتادن سیال‌های درگیر در مراحل مختلف کانی‌زایی، یا در اثر حذف انتخابی آب پس از به دام افتادن با سازوکار جدایش باشد [۳۳]. باتوجه به نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر [۳۲]، همه سیال‌های درگیر در گستره کانه‌زایی اسکارن قرار دارند (شکل ۹ب). با استفاده از نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی، می‌توان خاستگاه سیال کانسارساز را پیش بینی کرد. براساس نتایج به دست آمده از ریزدماسنجی، سیال‌های درگیر از خاستگاه سیال‌های دگرگونی و سیال‌های ترکیبی ماگمایی-جوی هستند (شکل ۱۰).

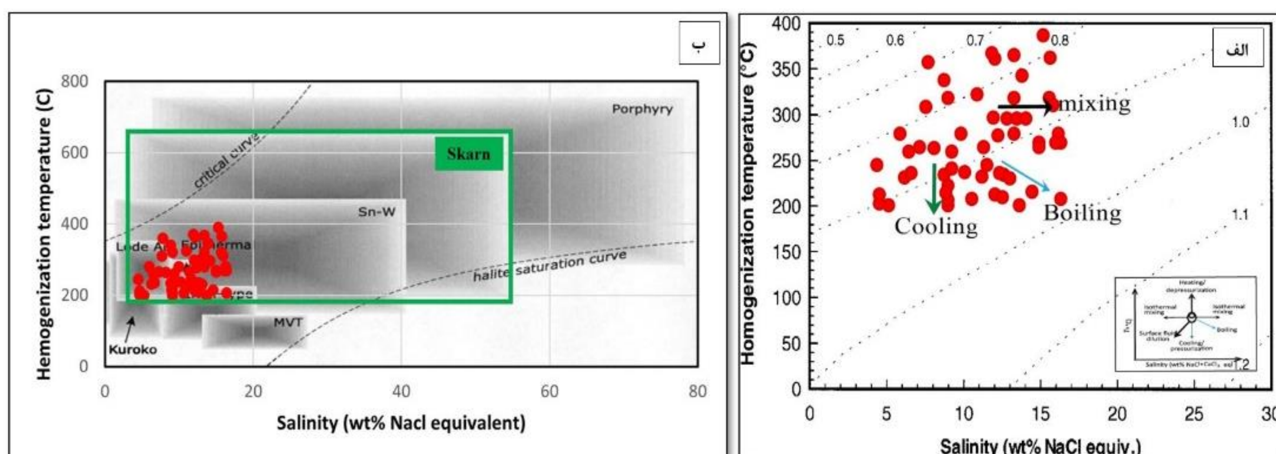
جدول ۳ چکیده نتایج بررسی سیال های درگیر اولیه کانسار کرات. (Th: دمای همگن شدگی، Tm(ice): دمای ذوب آخرین قطعه یخ)

شوری (wt.%Nacl eq.)	$T_{m(ice)}$ (°C)	T_h(°C)	تعداد اندازه گیری ها	کانی	نمونه میانبار سیال	نمونه
5.24 to 16.26	-3.2 to -14	200 to 370	20	Quartz	L+V	**KR1FT**
4.48 to 13.73	-2.7 to -10.4	200 to 260	17	Quartz	L+V	**KR2FT**
8.84 to 16.42	-5.8 to -14.3	207 to 390	21	Quartz	L+V	**KR3FT**

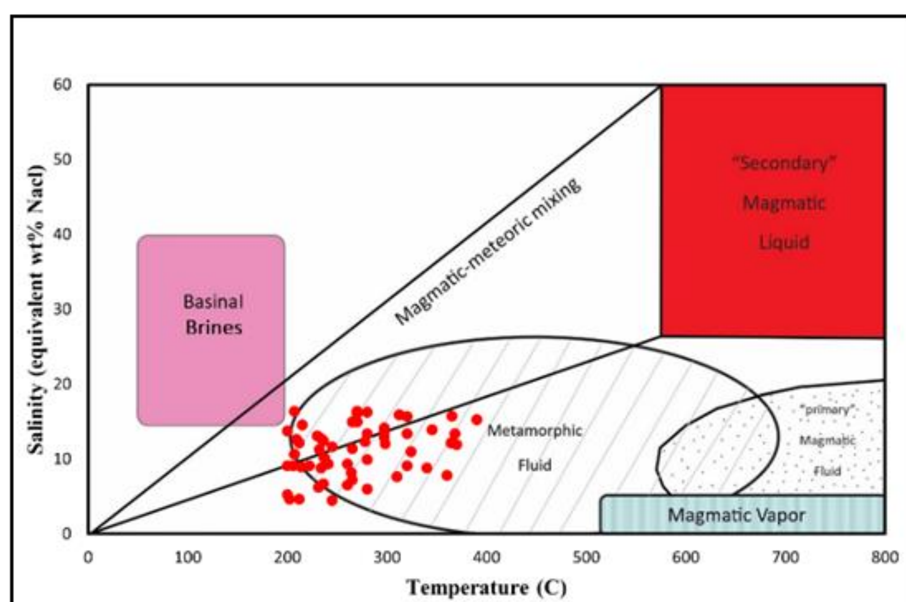


شکل۸ الف) نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر برای کانسارکرات؛ ب) نمودار فراوانی مقدار شوری (برحسب درصد وزنی معادل NaCl) برای کانسار کرات.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]



شکل ۹ الف) نمودار دمای همگن‌شدگی و شوری برای سیال‌های درگیر کانسار کرات و نمودار تعیین کننده جهت‌های اصلی دمای همگن شدگی-شوری طی فرایندهای مختلف تکامل سیال‌های درگیر [۳۳]. ب) نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی شاخص انواع مختلف کانسارها [۳۳] که نشان می‌دهد که کانسار کرات در گستره کانسارهای اسکارن قرار دارد.



شکل۱۰ تعیین خاستگاه سیال کانسار ساز براساس مقدار شوری نسبت به دمای همگن شدگی [۳۳] که براساس آن، بیشترین تمرکز سیال‌های درگیر در منطقه در گستره آب‌های با خاستگاه دگرگونی و جوی است

برداشت

کانسار آهن کرات کنار مجموعه معادن سنگان قرار دارد. این منطقه در پهنه زمین‌شناسی ایران مرکزی واقع بوده و بخش کوچکی از کمربند فلززایی سنگان–تربت‌حیدریه است. نفوذ توده گرانیتی در واحدهای رسوبی کانسار آهن کرات منجر به تشکیل کانسارهای اسکارن آهن در لبه توده و به صورت اسکارن پسرونده شده است. از آن جا که دلیلی بر پدیده جوشش در مرحله اسکارن پسرونده در بررسی سیال‌های درگیر و سنگ‌نگاری دیده نشد و باتوجه به دما و شوری پایین تا متوسط سیال‌های مسؤول کانی‌سازی و بررسی‌های انجام شده، خاستگاه آن‌ها ترکیبی از سیال‌های ماگمایی-جوی و دگرگونی است همچنین باتوجه به روند تشکیل سیال‌های درگیر،

می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی نهشت کانه‌ها در این کانسار، آمیختگی هم‌دما و رقیق‌شدگی سیال‌های ماگمایی- دگرگونی در اثر آمیختگی با آب‌های سطحی بوده است. وجود مقادیر بالای هماتیت در این کانسار در نتیجه تجزیه سولفیدها و مگنتیت‌های اولیه به دلیل افزایش گریزندگی اکسیژن در محیط و نیز ایجاد دگرسانی‌های سیلیسی و سریسیتی شدن همراه با کانه‌زایی در پهنه اسکارنی، نشان دهنده عملکرد چرخش آب‌های جوی در پهنه‌های خرد شده ناشی از صعود ماگما و آمیختگی این سیال‌ها با سیال‌هایی با خاستگاه ماگمایی-دگرگونی در مرحله دگرگونی برگشتی اسکارن و تایید کننده نتایج بررسی سیال‌های درگیر در این مورد است، همچنین براساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی، همبستگی مناسبی بین عناصر نیکل، منیزیم و وانادیم با کانی‌سازی آهن دیده می‌شود، که می‌تواند ناشی از ماگمایی بودن خاستگاه کانسار آهن کرات باشد. البته برای اطمینان از این امر و تعیین دقیق خاستگاه سیال انجام تجزیه‌های ریزپردازش الکترونی و ایزوتوپی بر داده‌ها ضروری است.

قدردانی

نویسندگان صمیمانه از مجموعه شرکت گیتی فراز اطلس تشکر می‌کنند که با ایجاد شرایط خوب توانستند بستر مناسبی برای همکاری بخش دانشگاهی در راستای تحقق شعار ارتباط بین صنعت و دانشگاه فراهم نمایند؛ نتایج این پژوهش در اختیار شرکت نام برده برای بررسی‌های اکتشافی آن منطقه معدنی قرار می‌گیرد.

مراجع

[1] Geological Survey of Iran, *"Geological map of Iran at the scale 1/1000000"*, (2002).

[2] Geological Survey of Iran, *"Report of Taybad geological map at the scale 1/250000"*, (1990) 150p.

[3] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S. A., *"Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran"*, Ore Geology Reviews 65 (2015) 545–563. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.07.005.

[4] Golmohammadi A., Karimpour M.H.,Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S.A.,*"Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran"*, Ore Geology Reviews 65(2) (2015) 545–563. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.07.005

[5] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A.,*"Geochemistry and mineralogy of skarn zones and petrology of source rock Sangan iron mine, Khorasan Razavi, Iran"*, Scientific Quarterly Journal, Geosciences 65 (2007) 108–125.

[6] Malekzadeh Shafaroudi A., Mazhari N.,Ghaderi M., *"Geology, mineralogy, and chemistry of skarn zones and orebody in Ma'danjoo iron skarn prospect area, east of Sangan mine, Khaf, NE Iran"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (1) (2016) 83-98.

[7] Karimpour M.H., *"Geochemisry and mineralogy of the Khorasan Sangan iron ore deposits"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 2 (2) (1994) 145-156. http://dx.doi.org/10.29252/ijcm.26.4.871

[8] Kaheni Sh., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"The geochemistry and mineralogy of North C ore body and Baghak anomaly and determination of two Pyrrhotite generations which are different in composition in Sangan mine, eastern Iran"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 16 (2) (2008) 313-326. http://dx.doi.org/10.29252/ijcm.26.4.871

[9] Mazaheri S.A., *"Classification of amphiboles from Iron ore deposits, Sangan area, Khaf"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 10 (1) (2002) 67-80.

[10] Mazaheri N., Malekzadeh Shafaroudi A., Ghaderi M., *"Geology, mineralogy and geochemistry of Ferezneh ferromanganese anomaly, east of Sangan mines complex, NE Iran"*, Iranian Journal of Economic Geology 7 (1) (2015) 23-37. https://doi.org/10.22067/econg.v7i1.44694

[11] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M. H., Golmohammadi A., *"Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-north and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran"*,

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.243]

[20] Beane R.E., *"The Magmatic-meteoric Transition"*, Geothermal Resources Council, Special Report 13, (1983) 245-253.

[21] Van den Kerkhof, A. M. and Hein, U. F., *"Fluid inclusion petrography. Lithos"*, 55: 27-47. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2 (2001).

[22] Durieux C.G, Brown A.C., *"Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salta district northwestern Argentina"*, Miner Deposita 42) 2007 (879-899.)

[23] Nash J. T., *"Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration"*, US Geol. Survey. Prof. Paper 907 D16 p (1976).

[24] Simmons S. F., *"Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits*", 100th anniversary volume, 485-522.

[25] Guilbert J.M., Park C.F., *" The Geology of Ore Deposits. WH Freeman and Company"*, 985p. (1997).

[26] Roedder E., *"Fluid inclusions" Reviews in Mineralogy 12*", Mineralogical Society of America (1984) 646p.

[27] Potter R. W., Clynne M. A., Brown D. L., *"Freezing Point Depression of Aqueous Sodium Chloride Solution"*, Economic Geology, 73: 284-285. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.73.2.284 (1978).

[28] Shepherd T., Rankin A. H., Alderton D. H. M., *"A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie, London"*, 239p (1985).

[29] Hall D.L., Sterner S.M., Bodnar R.J., *"Freezing point depression of Nacl-KCl-H2O solutions*", Economic Geology 93 (1988) 197-202. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.1.197.

[30] Viti C., Frezzoti M. L., *"Transmission electron microscopy applied to fluid inclusion investigations*", Lithos 55 (2001) 125-138. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00042-6.

[31] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos"*, 55 (2001) 229- 272. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5.

[32] Borisenko A.S., *"Studies of salinity of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric*

Journal of Asian Earth Sciences 64 (2013) 256–271. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.12.028

[12] Mazaheri S. A., *"Petrological studies of skarns from Marulan South, New South Wales Australia and Sangan, Khorasan, Iran"*, Ph. D. thesis, University of Wollongong, New South Wales Australia (1995).

[13] Mazhari N., Malekzadeh Shafaroudi A., Ghaderi M., Star Lackey J., Lang Farmer G., Karimpour M.H., *"Geochronological and Geochemical Characteristics of Fractionated Itype Granites Associated with the Skarn Mineralization in the Sangan Mining Region, NE Iran"*, Ore Geology Reviews 84 (2017) 116-133. http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.003

[14] Ghasemi Siani M., Mehrabi B., *"Mineralogy and mineral chemistry of silicate mineral of Dardvay Fe skarn ore deposit (Sangan mining area, NE Iran)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (4) (2019) 871-884. http://dx.doi.org/10.29252/ijcm.26.4.871

[15] Tale Fazel E., Mehrabi B., Khakzad A., Kianpour R., *"Stages and Mineralization Conditions of Dardvey Iron Skarn Based on Mineralogy and Fluid Inclusion Evidences, Sangan Area (Khorasan Razavi)"*, Scientific Quarterly Journal, Geosciences 81 (2011) 349– 360.

[16] Boomeri M., *"Petrography and geochemistry of the Sangan iron skarn deposit and related igneous rocks, northeastern Iran"*, Ph. D thesis, Akita Univ, Japan, (1998a) 226 p.

[17] Boomeri M., *"Geochemical characteristics of halogen–bearing hastingsite, scapolite and phlogopite from the Sangan iron skarn deposits, northeastern Iran"*, Journal of Mineralogy and Petrology 92 (1998b) 481-501.

[18] Haynes D.W., Cross K.C., Bills R.T., Reed M.H., "Olympic Dam ore genesis: a fluid mixing model", Econ. Geol, 90(1995) 281-307. https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.90.2.281

[19] Moore M., Deymar S., Taghipour B., *"Geochemistry of Rare Earth Elements and mineral chemistry of garnet in Darreh Zerreshk skarns (Southwest of Yazd) "*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 3(2013) 431-444.

method", Soviet Geology and Geophysics 18 (1977) 11-19.

[33] Crawford M.L., *"Phase equilibrium in aqueous fluid inclusions. In: Short course in Fluid Inclusions (Eds. Hollister L.S. and Crawford M.L.) application to Petrology"*, Mineralogical Association of Canada 6 (1981) 75-100.

[34] Kesler S. E., *"Fluids in planetary systems: Ore-forming fluids. Elements"* 1 (2005) 13-18.